

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D - 1 APR 2004

WIPO PCT

EP04 /1913

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 08 821.0

Anmeldetag: 27. Februar 2003

Anmelder/Inhaber: Universität Duisburg-Essen, 45141 Essen/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Ultraschall-Messung

IPC: G 01 F, A 61 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 12. Januar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Wallner

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

A 9161
06/00
EDV-L

Gesthuysen, von Rohr & Eggert

03.0244.4.pu

Essen, den 27. Februar 2003

P a t e n t a n m e l d u n g

der

Universität Duisburg-Essen
Universitätsstraße 2

45141 Essen

mit der Bezeichnung

Verfahren und Vorrichtung zur Ultraschall-Messung

Verfahren und Vorrichtung zur Ultraschall-Messung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ultraschall-Messung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine Vorrichtung zur Ultraschall-Messung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 21.

Insbesondere bezieht sich die vorliegende Erfindung auf die Ultraschall-Messung des Blutflusses im menschlichen oder tierischen Körper durch eine dynamische oder unregelmäßige Öffnung, beispielsweise eine insuffiziente oder stenosierte Herzklappe, eine verengte Vene oder Arterie oder dergleichen. Beispielsweise ist es wünschenswert, die Öffnungsfläche, den Volumenstrom und/oder das Flußvolumen bei einer kranken Herzklappe, insbesondere den Rückfluß durch eine kranke Herzklappe, zu bestimmen, um dadurch den Schweregrad eines Klappendefekts bestimmen und ggf. eine Herzkappenoperation mit optimalem Ergebnis durchführen zu können.

Die WO 00/51495 A1, die den Ausgangspunkt der vorliegenden Erfindung bildet, offenbart ein Ultraschall-Meßverfahren, bei dem gepulste Ultraschall-signale ausgesendet und die rückgestreuten Ultraschallstrahlen basierend auf der Doppler-Technik ausgewertet werden.

Um beispielsweise bei einer insuffizienten Herzklappe die Öffnungsfläche, den Volumenstrom, das Flußvolumen und/oder einen dazu proportionalen Wert – nachfolgend kurz auch Meßwerte genannt – des Blutrückstroms zu bestimmen, muß der Meßbereich eines Referenzstrahls innerhalb der vena contracta (Strahlverengung) im Rückstrom des Bluts durch die Herzklappe liegen und der Meßbereich eines Meßstrahls die Öffnung der insuffizienten Herzklappe während des Rückstroms vollständig überdecken. Die Positionierung der Meßbereiche ist bisher nur manuell möglich und erfordert sowohl ein großes manuelles Geschick als auch eine große Erfahrung des Bedieners. Des weiteren ist bei dem bekannten Verfahren problematisch, daß die Öffnung einer insuffizienten Herzklappe in ihrer maximalen Erstreckung ggf. einige Zentimeter betragen und deshalb die Öffnung vom Meßbereich des Meßstrahls nicht mehr vollständig abgedeckt werden kann.

Bei der vorliegenden Erfindung wird mit dem Begriff "Meßbereich" derjenige räumliche Bereich bezeichnet, der von einem Sendestrahl sonifiziert, also beschallt, und dessen Rückstreuung erfaßt und ausgewertet wird, wobei gegebenenfalls nur die Rückstreuung eines Teilbereichs erfaßt und ausgewertet wird.

5 Die rückgestreuten Ultraschallwellen werden auch einfach kurz als Meßstrahl und Referenzstrahl bezeichnet, wobei der Meßstrahl einen größeren Meßbereich und der Referenzstrahl einen kleineren Meßbereich aufweist. Insbesondere liegt der Meßbereich des Referenzstrahls innerhalb des Meßbereichs des Meßstrahls.

10 Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ultraschall-Messung der Öffnungsfläche einer dynamischen und/oder unregelmäßigen Öffnung, die von einem Fluid, insbesondere Blut, durchströmt wird, und/oder des Volumenstroms und/oder des Flußvolumens durch die Öffnung anzugeben, wobei eine einfache, vorzugsweise automatisierte Bedienung und/oder eine genaue Messung, insbesondere an einer verhältnismäßig großen Öffnung, ermöglicht wird bzw. werden.

20 Die obige Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 oder eine Vorrichtung gemäß Anspruch 21 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

25 Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung liegt darin, vorab in einem Suchmodus den Meßbereich des Meßstrahls dreidimensional zu bewegen, insbesondere mittels eines entsprechend gesteuerten Matrix-Array-Transducers, während fortlaufend Dopplersignale erfaßt und hinsichtlich des Auftretens eines für eine vena contracta charakteristischen Dopplerspektrums ausgewertet werden. Beispielsweise wird der Meßbereich mäanderförmig und nacheinander in verschiedenen Ebenen bewegt, um einen Raumbereich zu lokalisieren, in dem eine vena contracta des durch eine Öffnung strömenden Fluids auftritt. Dies erleichtert die Bedienung wesentlich. Insbesondere ist eine automatisierte Erkennung einer vena contracta möglich, ohne daß es einer großen Erfahrung oder manuellen Geschicklichkeit eines Bedieners bedarf.

35 Ein weiterer, auch unabhängig realisierbarer Aspekt der vorliegenden Erfindung liegt darin, daß mehrere Meßstrahlen mit versetzten räumlichen, teilwei-

se einander überlappenden Meßbereichen und/oder mehrere Referenzstrahlen mit versetzten räumlichen Meßbereichen zur Bestimmung der Meßwerte ausgewertet werden. Dies führt zu mehreren Vorteilen.

5 Die Erfassung und Auswertung mehrerer versetzter Meßbereiche – hierbei kann es sich wahlweise um die Meßbereiche mehrerer Meßstrahlen und/oder mehrerer Referenzstrahlen handeln – ermöglichen eine Feinjustierung und ggf. Nachkorrektur während der Messung, so daß eine sichere Abdeckung der Öffnung durch die Meßstrahlen und/oder eine sichere Positionierung eines Meßbereichs eines Referenzstrahls im Inneren der vena contracta des durch die Öffnung strömenden Fluids erreichbar ist bzw. sind.

10 15 Die einander überlappenden Meßbereiche der Meßstrahlen ermöglichen eine sichere Abdeckung auch größerer Öffnungen, so daß eine bessere bzw. genauere Bestimmung der Meßwerte ermöglicht wird.

20 Insbesondere ist die Verwendung eines sogenannten Matrix-Array-Transducers zur Erzeugung eines Sendestrahls und zur Erfassung der Meßstrahlen und der Referenzstrahlen vorgesehen. Dies ermöglicht einen einfachen, universellen Aufbau, wobei die Richtungen der Strahlen sowie der Tiefenbereich, der ausgewertet wird, und damit die Lage der Meßbereiche elektronisch steuerbar, insbesondere bewegbar und anpaßbar, sind.

25 Weitere Vorteile, Merkmale, Eigenschaften und Aspekte der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung. Es zeigt:

30 Fig. 1 eine schematische Darstellung einer vorschlagsgemäßen Vorrichtung bei der Ultraschall-Messung des Rückstroms durch eine insuffiziente Herzklappe;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Sendestrahls bei der Ultraschall-Messung einer vena contracta in einer Öffnung;

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Meßstrahls und eines Referenzstrahls bei der Ultraschall-Messung einer vena contracta in der Öffnung;

5 Fig. 4 ein Dopplerspektrum einer vena contracta;

Fig. 5 eine schematische Darstellung der Vorrichtung bzw. des Verfahrens in einem Suchmodus;

10 Fig. 6 eine schematische Darstellung einer insuffizienten Herzklappe und von Meßbereichen von Meßstrahlen und Referenzstrahlen bei der Ultraschall-Messung; und

Fig. 7 eine Anzeigeeinrichtung der Vorrichtung.

15 Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine vorschlagsgemäße Vorrichtung 1 und ein vorschlagsgemäßes Verfahren zur Ultraschall-Messung der Öffnungsfläche einer dynamischen und/oder unregelmäßigen Öffnung 2, die von einem Fluid, insbesondere Blut 3, durchströmt wird, und/oder des Volumenstroms und/oder des Flußvolumens durch die Öffnung 2.

20 25 Fig. 1 zeigt schematisch einen nur teilweise angedeuteten Körper 4 mit einem zu untersuchenden Herz 5, das von Blut 3 durchströmt ist. Eine Herzklappe – hier die Mitralklappe – ist insuffizient und schließt daher während der Systole nicht vollständig, sondern bildet die in Fig. 1 schematisch angedeutete Öffnung 2. Während der Systole strömt Blut 3 durch die Öffnung 2 zurück.

Mittels der vorschlagsgemäßen Vorrichtung 1 und des vorschlagsgemäßen Verfahrens können Meßwerte, nämlich die Öffnungsfläche – beispielsweise ein Mittelwert oder der während der Systole variierende Verlauf – der Öffnung 2 und der zeitlich während der Systole variierende Volumenstrom des rückströmenden Bluts 3, das gesamte Flußvolumen an rückströmendem Blut 3 und/oder ein proportionaler Wert, bestimmt werden.

30 35 Das vorschlagsgemäße Verfahren ist jedoch nicht auf die Bestimmung der Meßwerte bei einer Mitralklappe beschränkt, sondern kann zur Bestimmung

der Meßwerte bei jeder Herzklappe oder bei jeder sonstigen dynamischen und/oder unregelmäßigen, insbesondere von Blut 3 durchströmten Öffnung 2, beispielsweise einem Loch in der Herzscheidewand, einer stenosierten Vene oder Arterie oder dergleichen, eingesetzt werden. Darüber hinaus ist das vorschlagsgemäße Verfahren nicht auf die Bestimmung der Meßwerte bei einer einzigen Öffnung 2 beschränkt, sondern kann die Meßwerte auch von mehreren Öffnungen 2 nacheinander – beispielsweise während der Systole bei einer insuffizienten Mitralklappe und während der Diastole bei einer insuffizienten Aortenklappe – oder simultan – beispielsweise bei zwei Öffnungen 2 in einer insuffizienten Mitralklappe oder bei einer insuffizienten Mitralklappe und einer stenosierten Aortenklappe – bestimmen.

Fig. 2 und 3 veranschaulichen das Grundprinzip der Ultraschall-Messung. Die schematisch angedeutete Öffnung 2 ist von einem Fluid, wie dem Blut 3, durchströmt, wobei sich nach der Öffnung 2 ein Bereich 6 mit zumindest im wesentlichen laminarer Strömung bildet, der sich verjüngt, also eine Strahleinschnürung bzw. -verengung zeigt und deshalb auch als vena contracta bezeichnet wird. Dieser laminare Bereich 6 läuft je nach Form der Öffnung 2 spitz, ggf. konisch, zu und geht zunehmend in eine turbulente Strömung über, wie in Fig. 2 und 3 schematisch angedeutet.

Insbesondere bezieht sich das vorschlagsgemäße Verfahren auf die Lokalisation und/oder Messung einer vena contracta mit einer Strahleinschnürung um den Faktor 0,6 bis 0,85 (Fläche oder Durchmesser des verjüngten Bereichs 6 zu Fläche oder Durchmesser der Öffnung 2).

Es werden gepulste Ultraschall-Signale ausgesendet, wie in Fig. 2 angedeutet, und die Rückstreuung von Ultraschall-Dopplersignalen eines Meßstrahls 7 und eines Referenzstrahls 8 zur Bestimmung der Meßwerte wird erfaßt und ausgewertet, wie in Fig. 3 angedeutet. Der Meßstrahl 7 weist einen größeren bzw. breiteren Meßbereich 9 auf. Der Referenzstrahl 8 weist hingegen einen kleineren bzw. schmaleren Meßbereich 10 auf, der vorzugsweise zentrisch innerhalb des Meßbereichs 9 liegt.

Zur Erzeugung und zum Empfang bzw. zur Erfassung der Ultraschallwellen wird vorzugsweise ein sogenannter Multi-Array-Transducer 11 eingesetzt.

Der Transducer 11 weist eine Vielzahl von insbesondere matrixartig angeordneten Ultraschallerzeugern, beispielsweise Piezo-Elementen, auf, die derart in ihrer Phase und Amplitude ansteuerbar sind, daß die Ultraschallwellen als Sendestrahl 12, wie in Fig. 2 angedeutet, ausgesendet werden, wobei die 5 Richtung des Sendestrahls 12 und dessen Breite bzw. Querschnitt elektronisch steuerbar sind.

Zum Transducer 11 bzw. zum Verhalten der Ultraschallwellen ist anzumerken, daß bei einer großflächigen Ultraschallerzeugung am Transducer 11 ein konvergierender bzw. im Auftreffbereich verhältnismäßig schmaler bzw. dünner Sendestrahl 12 entsteht. Hingegen ergibt sich ein verhältnismäßig breiter bzw. im Querschnitt größerer, also weniger stark konvergierender Sendestrahl 12, der in Fig. 2 zur Verdeutlichung divergierend dargestellt ist, wenn die Ultraschallwellen nur von einer kleinen Flächen ausgesendet werden, also nur 10 verhältnismäßig wenige, beispielsweise in der Mitte des Transducers 11 liegende Ultraschallerzeuger Ultraschallwellen emittieren.

Das vorgenannte Verhalten zeigen die Ultraschallwellen auch beim Empfang. Durch entsprechende Wahl der Empfangsfläche bzw. Auswertung ist die Größe 20 des Meßbereichs 9, 10 festlegbar. Fig. 3 veranschaulicht, daß bei kleiner Empfangsfläche – also Aktivierung bzw. Auswertung nur eines Teils der Ultraschallerzeuger/Ultraschallempfänger bzw. Piezo-Elemente des Transducers 11 – der empfangene Meßstrahl 7 einen verhältnismäßig breiten bzw. im Querschnitt großflächigen Meßbereich 9 aufweist. Umgekehrt weist der Referenzstrahl 8 einen im Querschnitt kleinen bzw. schmalen Meßbereich 10 bei großer Empfangsfläche – also Aktivierung vieler bzw. aller Ultraschallerzeuger/Ultraschallempfänger bzw. Piezo-Elemente des Transducers 11 – auf.

Der Transducer 11 erzeugt den Sendestrahl 12 und empfängt den Meßstrahl 7 30 und den Referenzstrahl 8 in kurzer Folge und wiederholend hintereinander, wobei vorzugsweise nur ein breiter Sendestrahl 12 erzeugt wird, der gleichzeitig beide Meßbereiche 9 und 10 sonifiziert, so daß der Meßstrahl 7 und der Referenzstrahl 8 simultan erfaßt und ausgewertet werden können, indem einerseits nur eine kleine Empfangsfläche des Transducers 11 und andererseits 35 eine große Empfangsfläche des Transducers 11 ausgewertet wird, wobei dies

vorzugsweise durch parallele Datenverarbeitung mit ausreichender Geschwindigkeit und simultan erfolgt.

Durch die Aussendung von gepulsten Ultraschallsignalen und den Doppler-Effekt ist die Lage und Tiefe der Meßbereiche 9, 10 bestimmbar bzw. festlegbar.

Mittels des vorzugsweise vorgesehenen Multi-Array-Transducers 11 oder eines sonstigen geeigneten Schallerzeugers und -empfängers sind bei dem vorschlagsgemäßen Ultraschall-Meßverfahren also sowohl die räumliche Lage als auch die Größe – insbesondere Querschnitt und Tiefe – der Meßbereiche 9, 10 steuerbar bzw. durch entsprechende Auswertung festlegbar.

Zur Durchführung der Ultraschallmessungen und zur Steuerung des Transducers 11 weist die Vorrichtung 1 über den Transducer 11 hinaus vorzugsweise eine Steuereinrichtung 13 und eine zugeordnete Anzeigeeinrichtung 14 auf, wie in Fig. 1 angedeutet.

Erfäßt und ausgewertet werden insbesondere die Leistungsspektren der Dopplersignale bzw. des Meßstrahls 7 und des Referenzstrahls 8.

Fig. 4 zeigt beispielhaft ein schematisches Dopplerspektrum – Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit – einer vena contracta bei einer Mitralklappe, also die Rückströmung von Blut 3 während zweier aufeinanderfolgender Systolen. Das Dopplerspektrum zeigt tatsächlich keine konturenscharfe Kurve, sondern pro Zeitpunkt eine Rückstreuistung, die mit der Geschwindigkeit variiert, wie in Fig. 4 durch den gepunkteten Bereich angedeutet.

Das Integral der Leistungswerte über die Geschwindigkeit zu einem Zeitpunkt stellt ein Maß für die Öffnungsfläche der Öffnung 2 dar, sofern der Meßbereich 9 die Öffnung 2 vollständig einhüllt bzw. überdeckt. Der Referenzstrahl 8 ist so gewählt, daß sein Meßbereich 10 vollständig innerhalb der vena contracta liegt und eine bekannte Öffnungsfläche aufweist. Mittels des Referenzstrahls 8 ist es dann durch entsprechende Integralbildung möglich, einen Referenzwert und daraus zusammen mit dem aus dem Meßstrahl 7 gewonnenen Integralwert damit die absolute Öffnungsfläche der Öffnung 2 zu bestimmen.

Entsprechend sind bei Integration des Produkts aus Leistung und Geschwindigkeit über die Geschwindigkeit der Volumenstrom und bei zusätzlicher Integration über die Zeit das Flußvolumen bestimmbar.

5

Weitere Einzelheiten insbesondere zur vorgenannten Messung bzw. Bestimmung der Meßwerte oder zu sonstigen Aspekten der Messung ergeben sich aus der WO 00/51495 A1, die hiermit voll umfänglich als ergänzende Offenbarung eingeführt wird.

10

15

Fig. 5 veranschaulicht in schematischer Darstellung die vorschlagsgemäße Vorrichtung 1 und das vorschlagsgemäße Verfahren in einem Suchmodus. Hierbei wird vorzugsweise nur der breite Meßstrahl 7 eingesetzt. Die Erfassung und Auswertung des Referenzstrahls 8 kann im Hinblick auf eine schnelle Verarbeitung bedarfsweise entfallen.

20

25

Der nicht dargestellte Sendestrahl 12 und der angedeutete Meßstrahl 7 werden vorzugsweise mäanderförmig durch entsprechende Ansteuerung des Transducers 11 bewegt, um das gesamte Herz 5 oder einen sonstigen – beispielsweise von einem Bediener vorgegebenen – Raumbereich (in Fig. 5 strichpunktiert, pyramidenförmig dargestellt) abzufahren bzw. abzuscannen oder zu durchlaufen. Hierbei wird der Meßbereich 9 des Meßstrahls 7 durch entsprechende Auswertung auch entlang des Meßstrahls 7 in verschiedenen Lagen positioniert, so daß unter Berücksichtigung der Bewegung des Meßstrahls 7 der Meßbereich 9 dreidimensional bewegt wird, während fortlaufend Dopplersignale erfaßt und hinsichtlich des Auftretens eines für eine vena contracta charakteristischen Dopplersektums ausgewertet werden

30

35

Der Scan- bzw. Suchvorgang kann quasi kontinuierlich bzw. stufenlos aufgrund der schnellen Datenverarbeitung und kurzen Laufzeiten erfolgen. Tatsächlich erfolgen jedoch hintereinander wiederholt eine Vielzahl von Messungen, wobei die Lage des erfaßten und ausgewerteten Meßbereichs 9 in inkrementalen Schritten verändert wird, um den insgesamt möglichen oder vorgegebenen Raumbereich hinsichtlich des Auftretens eines für einen vena contracta charakteristischen Dopplerspektrums abzusuchen.

Aus dem Vorgenannten ergibt sich, daß der vorgesehene Transducer 11 vorzugsweise derart ausgebildet ist, daß die Ultraschallstrahlen 7, 8, 12 in einem beispielsweise konischen Raumbereich mit möglichst großem Raumwinkel bzw. Kegelwinkel bewegbar sind. Dementsprechend handelt es bei dem
5 Transducer 11 vorzugsweise um einen sogenannten zweidimensionalen Transducer, also eine großflächige sich in beide Flächendimensionen erstreckende Anordnung von Ultraschallerzeugern/Ultraschallempfängern bzw. Piezo-Elementen.

- 10 Zur Feststellung, ob ein für eine vena contracta charakteristisches Doppler-
spektrum vorliegt, erfolgt vorzugsweise zunächst eine Filterung. Beispiels-
weise bleiben alle Geschwindigkeitswerte unterhalb einer Mindestgrenze V_{MIN}
von beispielsweise 100 cm/s unberücksichtigt und/oder werden nur Ge-
schwindigkeitswerte berücksichtigt, die einen glockenförmigen Geschwindig-
keitsverlauf zeigen und/oder oberhalb eines Mindestwerts von beispielsweise
15 50% des Maximalwerts des jeweiligen Spektrums liegen. Anschließend wird
bei den vorzugsweise gefilterten oder in sonstiger geeigneter Weise aufberei-
teten Spektren bzw. Werten überprüft,
20 ob die mittlere Geschwindigkeit einen vorgegebenen Mindestwert über-
schreitet oder für alle Spektren bzw. Meßbereiche 9 maximal ist,
ob die Breite des Geschwindigkeitsspektrums einen Maximalwert unter-
schreitet oder für alle Spektren bzw. Meßbereiche 9 minimal ist,
25 ob die Leistung oder das Leistungsintegral über die Geschwindigkeit ei-
nen Mindestwert überschreitet oder für alle Spektren bzw. Meßbereiche 9
maximal ist.
30 Nur wenn mindestens zwei, vorzugsweise alle drei der vorgenannten Bedin-
gungen erfüllt sind, wird von dem vorschlagsgemäßen Verfahren bzw. der
vorschlagsgemäßen Vorrichtung 1 das Auftreten einer vena contracta festge-
stellt oder zumindest vorläufig angenommen oder einem Bediener zur Aus-
wahl angezeigt, wobei bedarfsweise in einem den vorgesehenen Bereich der
35 vermuteten vena contracta darstellenden Bildmodus umschaltbar ist.

Nach Feststellen des Auftretens einer vena contracta kann wahlweise automa-
tisch oder auf ein entsprechendes Bestätigungssignal eines Bedieners hin eine

Ausrichtung des Sendestrahls 12, des Meßstrahls 7 und des Referenzstrahls 8 auf den Meßbereich 9, 10 der vermuteten vena contracta und dann eine Ultraschall-Messung zur Bestimmung der Meßwerte, wie bereits oben erläutert oder insbesondere wie nachfolgend näher beschrieben, erfolgen. Die vor 5 schlagsgemäße Vorrichtung 1 und das vorschlagsgemäße Verfahren ermöglichen also eine automatisierte Lokalisation und Messung einer dynamischen und/oder unregelmäßigen Öffnung 2, die von einem Fluid, wie Blut 3, durchströmt ist.

Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf Fig. 6 ein bevorzugtes Vorgehen bei 10 der eigentlichen Messung bzw. Bestimmung der Meßwerte erläutert. Fig. 6 zeigt schematisch eine insuffiziente Herzklappe, insbesondere eine Mitralklappe 15, die während der Systole nicht richtig schließt und dementsprechend die Öffnung 2 zeigt. Die Öffnung 2 kann eine beträchtliche Größe, insbesondere eine Länge von einigen Zentimetern annehmen. Diese maximale 15 Erstreckung der Öffnung 2 kann, wie in Fig. 6 angedeutet, größer als der vom Meßbereich 9 eines Meßstrahls 7 abdeckbare Bereich sein. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß der Meßbereich 9 nicht beliebig vergrößerbar ist, da mit zunehmender Größe bzw. Querschnittsfläche die Leistung bzw. Leistungsdichte sowohl des Sendestrahls 12 als auch des Meßstrahls 7 abnimmt, für 20 eine genaue Messung jedoch eine bestimmte Leistung bzw. ein bestimmter Rauschabstand bei den auswertbaren Signalen erforderlich ist.

Das vorschlagsgemäße Verfahren zeichnet sich nun vorzugsweise dadurch 25 aus, daß mehrere Meßstrahlen 7 mit versetzten räumlichen, teilweise einander überlappenden Meßbereichen 9 zur Bestimmung der Meßwerte erfaßt und ausgewertet werden. Insbesondere ist ein zentraler Meßstrahl 7 bzw. Meßbereich 9 von den weiteren Meßstrahlen 7 mit ihren Meßbereichen 9 rosettenartig umgeben, wie den in Fig. 6 dargestellten Meßbereichen zu entnehmen ist.

Vorzugsweise werden mehrere, insbesondere alle Meßstrahlen 7 nacheinander wiederholend innerhalb einer Messung oder Meßperiode erfaßt und ausgewertet. Vorzugsweise werden alle Meßstrahlen 7 kumulativ ausgewertet, wobei Überlappungen ihrer Meßbereiche 9 bedarfswise kompensiert werden 30 können.

Die vorzugsweise umlaufende Überlagerung der Meßbereich 9 führt dazu, daß die Öffnung 2 vollständig von den Meßbereichen 9 abgedeckt und dementsprechend eine genaue Bestimmung der Meßwerte sichergestellt werden kann.

5 Vorzugsweise ist jedem Meßstrahl 7 ein Referenzstrahl 8 zugeordnet, wie in Fig. 6 durch die den Meßbereichen 9 der Meßstrahlen 7 zugeordneten Meßbereiche 10 von Referenzstrahlen 8 angedeutet. Insbesondere erfolgt die Erfassung und Auswertung für jeden Meßstrahl 7 und dem ihm zugeordneten Referenzstrahl 8 simultan.

10 Vorzugsweise werden alle Referenzstrahlen 8 nacheinander wiederholend innerhalb einer Messung oder Meßperiode erfaßt und ausgewertet.

15 Die mehreren versetzten Meßbereiche 9 der Meßstrahlen 7 ermöglichen bereits eine Feinjustierung bzw. Nachkorrektur während der Meßperiode. Falls das Leistungsintegral des zentralen Meßstrahls 7 oder ein sonstiger Meßwert nicht mehr den höchsten Wert gegenüber einem anderen Meßstrahl 7 mit seitlich versetztem Meßbereich 9 zeigt, werden die Meßbereiche 9, 10 derart nachkorrigiert, daß der zentrale Meßstrahl 7 mit seinem Meßbereich 9 wiederum im Zentrum der Öffnung 2 liegt. Diese Justierung bzw. Nachkorrektur ist insbesondere dann wichtig, wenn die Öffnung 2 dynamisch ist, sich also während einer Meßperiode verändert, insbesondere seitlich bewegt.

25 Alternativ oder zusätzlich kann die vorgenannte Feinjustierung bzw. Nachkorrektur auch durch Auswertung der von den Referenzstrahlen 8 bereitgestellten Werte oder dazu proportionaler Werte erfolgen, wobei die Lage des zentralen Referenzstrahls 8 mit seinem Meßbereich 10 insbesondere derart fortlaufend korrigiert wird, daß der zentrale Meßbereich 10 während der gesamten Meßperiode vorzugsweise vollständig innerhalb der Öffnung 2 bzw. innerhalb des laminaren Bereichs 6 oder der vena contracta bleibt.

30 Zur Auswertung der Referenzstrahlen 8 ist weiter anzumerken, daß ein Referenzstrahl 8 zur Bildung eines Referenzwerts für alle Meßstrahlen 7 ausgewählt und insbesondere der höchste Referenzwert aller Referenzstrahlen 8 als Referenzwert für alle Meßstrahlen 7 verwendet werden kann.

Die Referenzwerte der Referenzstrahlen 8 werden vorzugsweise ebenfalls fortlaufend bestimmt, wobei die Lage der Meßbereiche 9, 10 in Abhängigkeit von den Referenzwerten während einer Meßperiode insbesondere so korrigiert wird, daß die Meßbereiche 9, 10 in die Richtung vom zentralen Meßbereich 9, 10 dorthin parallel verschoben werden, wo ein höherer Referenzwert aufgetreten ist.

Bei der Auswertung der Meßstrahlen 7 und Referenzstrahlen 8 bzw. der Bestimmung der Meßwerte können bedarfsweise diejenigen Rückstreuungen bzw. Meßstrahlen 7 und Referenzstrahlen 8 unberücksichtigt bleiben, bei denen eine korrekte Lage der Meßbereiche 9, 10 nicht vorhanden oder nicht sichergestellt war, also beispielsweise die oben genannten Kriterien für das Vorliegen eines eine vena contracta charakterisierenden Dopplerspektrums nicht erfüllt waren.

Das vorschlagsgemäße Verfahren und die vorschlagsgemäße Vorrichtung 1 zeichnen sich gemäß einer Weiterbildung dadurch aus, daß nacheinander oder simultan während einer Meßperiode die Meßwerte für mehrere getrennte Öffnungen 2 bestimmt werden können. So ist es möglich, daß beispielsweise zwei getrennte Öffnungen 2 mit jeweils einem eine vena contracta charakterisierenden Dopplerspektrum im Suchmodus erkannt und dann entweder nacheinander oder simultan unter Bestimmung der Meßwerte gemessen werden. Die Meßwerte können dann beispielsweise mittels der in Fig. 7 schematisch dargestellten Anzeigeeinrichtung 14 dem Bediener angezeigt werden. Abhängig von der zeitlichen Lage (Systole oder Diastole) und dem Fluß (positiv oder negativ) ist für den gebildeten Bediener klar ersichtlich, um welche Art von Herzklappe und Erkrankung es sich handelt, beispielsweise eine insuffiziente Mitralklappe bei der dargestellten Anzeige.

Die vorschlagsgemäße Vorrichtung 1 und das vorschlagsgemäße Verfahren sind universell einsetzbar, wobei die vorgesehene Automatisierung eine einfache und sichere Bedienung sowie eine schnelle Untersuchung bzw. Messung ermöglicht.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Ultraschall-Messung der Öffnungsfläche einer dynamischen und/oder unregelmäßigen Öffnung (2), die von einem Fluid, insbesondere Blut (3), durchströmt wird, und/oder des Volumenstroms und/oder des Flußvolumens durch die Öffnung (2),

5 wobei die Rückstreuung, insbesondere das Leistungsspektrum von Dopplersignalen, eines Meßstrahls (2) und/oder eines Referenzstrahls (8), dessen räumlicher Meßbereich (10) innerhalb des räumlichen Meßbereichs (9) des Meßstrahls (7) liegt, ausgewertet wird,

10 **dadurch gekennzeichnet,**

15 daß vorab in einem Suchmodus der Meßbereich (9) des Meßstrahls (7) dreidimensional bewegt wird, während fortlaufend Dopplersignale erfaßt und hinsichtlich des Auftretens eines für eine vena contracta charakteristischen Dopplerspektrums ausgewertet werden, so daß anschließend für eine Bestimmung der Öffnungsfläche, des Volumenstroms, des Flußvolumens und/oder eines dazu proportionalen Werts der Meßbereich (10) des Referenzstrahls (8) in das Innere oder der Meßbereich (9) des Meßstrahls (7) in den Bereich der vena contracta des Fluidflusses durch die Öffnung (2) bewegt oder gerichtet wird, und/oder

20 25 daß mehrere Meßstrahlen (7) mit versetzten räumlichen, teilweise einander überlappenden Meßbereichen (9) und/oder mehrere Referenzstrahlen (8) mit versetzten räumlichen Meßbereichen (10) zur Bestimmung der Öffnungsfläche, des Volumenstroms, des Flußvolumens und/oder eines dazu proportionalen Werts ausgewertet werden.

30 35 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein zentraler Meßbereich (9) eines Meßstrahls (7) von mehreren Meßbereichen (9) weiterer Meßstrahlen (7) rosettenartig umgeben wird.

35 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zu jedem Meßstrahl (7) ein Referenzstrahl (8) ausgewertet wird, dessen Meßbereich (10) innerhalb des Meßbereichs (9) des zugeordneten Meßstrahls (7) liegt.

4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßbereich (10) eines Referenzstrahls (8) zentrisch innerhalb des zugeordneten Meßstrahls (7) liegt.

5

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils ein Meßstrahl (7) und ein zugeordneter Referenzstrahl (8) simultan erfaßt und ausgewertet werden.

10

6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere, insbesondere alle Meßstrahlen (7) nacheinander wiederholend innerhalb einer Messung oder Meßperiode erfaßt und ausgewertet werden.

15

7. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere, insbesondere alle Meßstrahlen (7) kumulativ ausgewertet werden, insbesondere wobei Überlappungen ihrer Meßbereiche (9) kompensiert werden.

20

8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere, insbesondere alle Referenzstrahlen (8) nacheinander wiederholend innerhalb einer Messung oder Meßperiode erfaßt und ausgewertet werden.

25

9. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Meßbereich (10) eines zentralen Referenzstrahls von mehreren Meßbereichen (8) weiterer Referenzstrahlen (10), insbesondere rosettenartig, umgeben wird.

30

10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßbereich (10) eines Referenzstrahls (8) in das Innere und/oder der Meßbereich (9) eines Meßstrahls (7) in den Bereich einer vena contracta des Fluidflusses durch die Öffnung (2) bewegt oder gerichtet wird.

35

11. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Referenzstrahl (8) zur Bildung eines Referenzwerts für alle

Meßstrahlen (7) ausgewählt oder der höchste Referenzwert aller Referenzstrahlen (8) als Referenzwert für alle Meßstrahlen (7) verwendet wird.

12. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzwerte von mehreren Referenzstrahlen (8) fortlaufend bestimmt werden und die Lage der Meßbereiche (9, 10) in Abhängigkeit von den Referenzwerten während einer Meßperiode korrigiert wird, insbesondere so, daß der Meßbereich (10) eines zentralen Referenzstrahls (8) innerhalb der vena contracta der Öffnung (2) bleibt.

13. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzwerte von mehreren Referenzstrahlen (8) fortlaufend während einer Meßperiode ausgewertet werden und die Meßbereiche (9, 10) der Referenzstrahlen (8) und/oder der Meßstrahlen (7) während einer Meßperiode verschoben werden, wenn der Referenzwert des zentralen Referenzstrahls (8) den Referenzwert eines anderen Referenzstrahls (8) erreicht oder unterschreitet, insbesondere wobei die Meßbereiche (9, 10) in die Richtung vom zentralen Meßbereich (10) zum Meßbereich (10) des letztgenannten Referenzstrahls (8), vorzugsweise parallel, verschoben werden.

14. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Auswertung aus den Leistungsspektren der Dopplersignale der rückgestreuten Meßstrahlen (7) und/oder Referenzstrahlen (8) die Öffnungsfläche, der Volumenstrom, das Flußvolumen und/oder ein dazu proportionaler Wert durch Integrieren der Leistungsspektren und/oder des Produkts aus Leistung und Geschwindigkeit über die Geschwindigkeit und/oder Zeit bestimmt wird bzw. werden.

15. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß gepulste Ultraschall-Dopplersignale verwendet werden.

16. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Sendestrahl (12) mittels eines Matrix-Array-Transducers (11) erzeugt und auf gewünschte Meßbereiche (9, 10) gerichtet wird.

17. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßstrahlen (7) und/oder Referenzstrahlen (8) mittels eines Matrix-Array-Transducers (11) in Abhängigkeit von den Meßbereichen (9, 10) erfaßt werden.

5

18. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nacheinander oder simultan während einer Meßperiode die Öffnungsfläche, der Volumenstrom, das Flußvolumen und/oder eines dazu proportionaler Wert für zwei oder mehrere getrennte Öffnungen (2) separat bestimmt wird bzw. werden.

10

19. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungsfläche, der Volumenstrom, das Flußvolumen und/oder ein davon abhängiger Wert angezeigt wird bzw. werden.

15

20. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erfassung einer vena contracta ausgewertet wird, ob die mittlere Geschwindigkeit einen Mindestwert überschreitet oder maximal ist, ob die Breite des Geschwindigkeitsspektrums einen Maximalwert unterschreitet und/oder ob die Leistung oder das Leistungsintegral über die Geschwindigkeit einen Mindestwert überschreitet oder maximal ist.

20

21. Vorrichtung (1) zur Ultraschall-Messung der Öffnungsfläche einer dynamischen und/oder unregelmäßigen Öffnung (2), die von einem Fluid, insbesondere Blut (3), durchströmt wird, und/oder des Volumenstroms und/oder des Flußvolumens durch die Öffnung (2),

25

wobei die Rückstreuung, insbesondere das Leistungsspektrum von Dopplersignalen, eines Meßstrahls (7) und/oder eines Referenzstrahls (8), dessen räumlicher Meßbereich (10) innerhalb des räumlichen Meßbereichs (9) des Meßstrahls (7) liegt, ausgewertet wird,

dadurch gekennzeichnet,

30

daß die Vorrichtung (1) einen Matrix-Array-Transducer (11) zur Erzeugung eines Sendestrahls (12) und zur Erfassung des Meßstrahls (7) und/oder Referenzstrahls (8) aufweist,

wobei vorab in einem Suchmodus der Meßbereich (9) des Meßstrahls (7) dreidimensional bewegbar ist, während fortlaufend Dopplersignale erfaßbar und hinsichtlich des Auftretens eines für eine vena contracta charakteristischen Dopplerspektrums auswertbar sind, so daß anschließend für die Bestimmung der Meßbereich (9) in das Innere oder in den Bereich der vena contracta des Fluidflusses durch die Öffnung (2) richtbar ist, und/oder

wobei mehrere Meßstrahlen (7) mit versetzten räumlichen, teilweise einander überlappenden Meßbereichen (9) und/oder mehrere Referenzstrahlen (8) mit versetzten räumlichen Meßbereichen (10) zur Bestimmung der Öffnungsfläche, des Volumenstroms, des Flußvolumens und/oder eines davon abhängigen Werts erfaßbar und auswertbar sind.

- 15 22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß ein zentraler Meßbereich (9) eines Meßstrahls (7) von mehreren Meßbereichen (9) weiterer Meßstrahlen (7) rosettenartig umgeben ist.
- 20 23. Vorrichtung nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß zu jedem Meßstrahl (7) ein Referenzstrahl (8) auswertbar ist, dessen Meßbereich (10) vorzugsweise zentrisch innerhalb des Meßbereichs (9) des zugeordneten Meßstrahls (7) liegt.
- 25 24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßbereich (9) eines Referenzstrahls (7) zentrisch innerhalb des zugeordneten Meßstrahls (7) liegt.
- 30 25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils ein Meßstrahl (7) und ein zugeordneter Referenzstrahl (8) simultan erfaßbar und auswertbar sind.
- 35 26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere, insbesondere alle Meßstrahlen (7) nacheinander wiederholend innerhalb einer Messung oder Meßperiode erfaßbar und auswertbar sind.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere, insbesondere alle Meßstrahlen (7) kumulativ auswertbar sind, insbesondere wobei Überlappungen ihrer Meßbereiche (9) kompensierbar sind.

5

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere, insbesondere alle Referenzstrahlen (8) nacheinander wiederholend innerhalb einer Messung oder Meßperiode erfaßbar und auswertbar sind.

10

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß ein Referenzstrahl (8) zur Bildung eines Referenzwerts für alle Meßstrahlen (7) auswählbar oder der höchste Referenzwert aller Referenzstrahlen 8 als Referenzwert für alle Meßstrahlen (7) verwendbar ist.

15

20

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzwerte von mehreren Referenzstrahlen (8) fortlaufend bestimmbar sind und die Lage der Meßbereiche (9, 10) in Abhängigkeit von den Referenzwerten während einer Meßperiode korrigierbar ist, insbesondere so, daß ein der Meßbereich (10) eines zentralen Referenzstrahls (8) innerhalb der vena contracta der Öffnung (2) bleibt.

25

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß ein Meßbereich (10) eines zentralen Referenzstrahls (8) von mehreren Meßbereichen (10) weiterer Referenzstrahlen (8), insbesondere rosettenartig, umgeben ist.

30

35

32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzwerte von mehreren Referenzstrahlen (8) fortlaufend während einer Meßperiode auswertbar sind und die Meßbereiche (9, 10) der Referenzstrahlen (8) und/oder der Meßstrahlen (7) während einer Meßperiode verschiebbar sind, wenn der Referenzwert des zentralen Referenzstrahls (8) den Referenzwert eines anderen Referenzstrahls (8) erreicht oder unterschreitet, insbesondere wobei die Meßbereiche (9, 10) in die Richtung vom zentralen Meßbereich (10) zum Meßbereich (10) des letztgenannten Referenzstrahls (8), vorzugsweise parallel, verschiebbar sind.

33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßbereich (10) eines Referenzstrahls (8) in das Innere und/oder der Meßbereich (9) eines Meßstrahls (7) in den Bereich einer vena contracta des Fluidflusses durch die Öffnung (2) bewegbar oder richtbar ist.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Auswertung aus den Leistungsspektronen der Dopplersignale der rückgestreuten Meßstrahlen (7) und/oder Referenzstrahlen (8) die Öffnungsfläche, der Volumenstrom, das Flußvolumen und/oder ein dazu proportionaler Wert durch Integrieren der Leistungsspektronen und/oder des Produkts aus Leistung und Geschwindigkeit über die Geschwindigkeit und/oder Zeit bestimmbar ist bzw. sind.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß gepulste Ultraschall-Dopplersignale erzeugbar und auswertbar sind.

36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß der Sendestrahl (12) mittels des Matrix-Array-Transducers (11) auf gewünschte Meßbereiche (9, 10) richtbar ist.

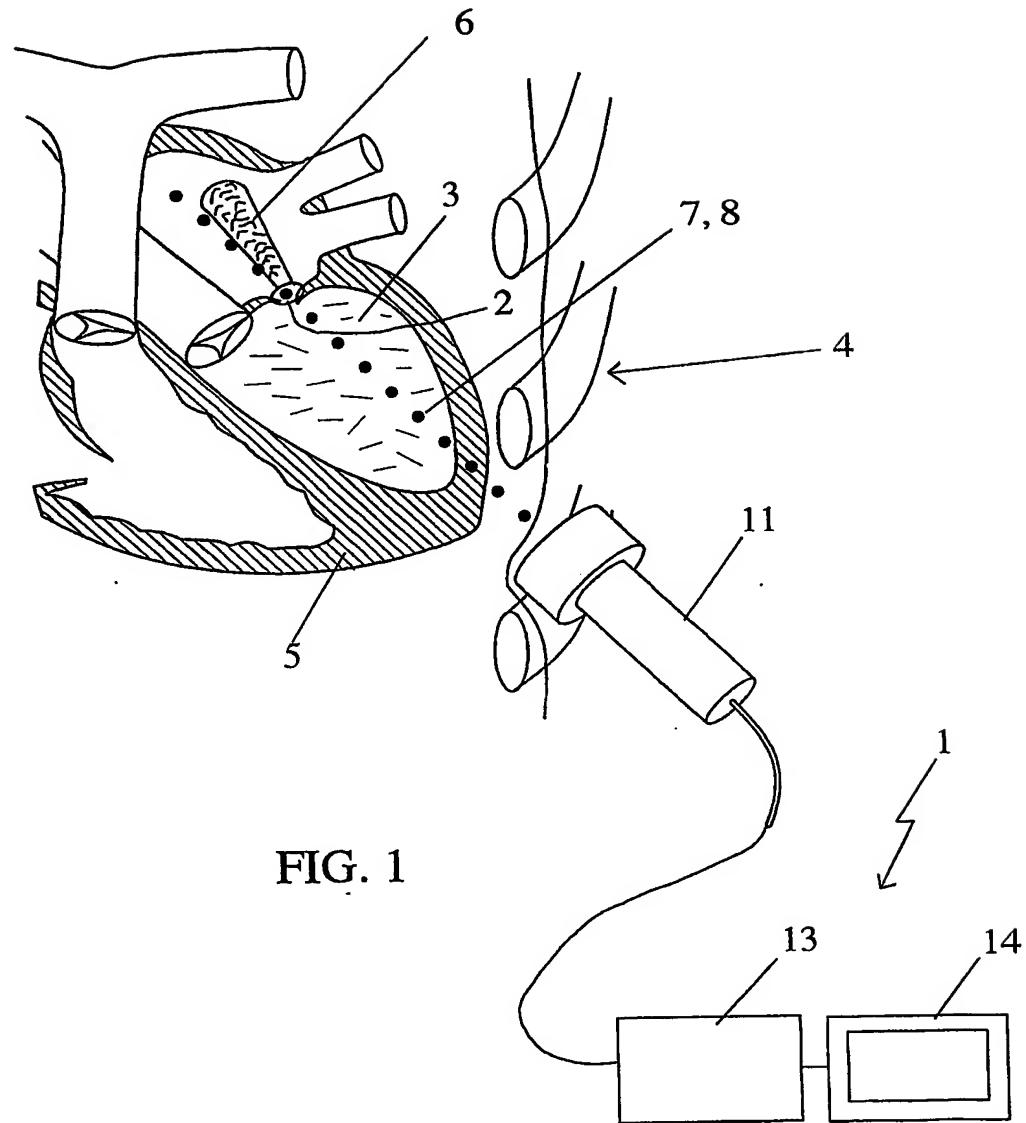
37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßstrahlen (7) und/oder Referenzstrahlen (8) mittels des Matrix-Array-Transducers (11) in Abhängigkeit von den Meßbereichen (9, 10) erfassbar sind.

38. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß nacheinander oder simultan während einer Meßperiode die Öffnungsfläche, der Volumenstrom, das Flußvolumen und/oder eines davon abhängigen Werts für mehrere getrennte Öffnungen (2) separat bestimmbar ist bzw. sind.

39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 38, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (1) eine Anzeigeeinrichtung (14) zur Anzeige der Öffnungsfläche, des Volumenstroms, des Flußvolumens und/oder eines dazu proportionalen Werts, insbesondere über die Meßperiode, aufweist.

40. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erfassung einer vena contracta auswertbar ist, ob die mittlere Geschwindigkeit einen Mindestwert überschreitet oder maximal ist, ob die Breite des Geschwindigkeitsspektrums einen Maximalwert unterschreitet und/oder ob die Leistung oder das Leistungsintegral über die Geschwindigkeit einen Mindestwert überschreitet oder maximal ist.

5



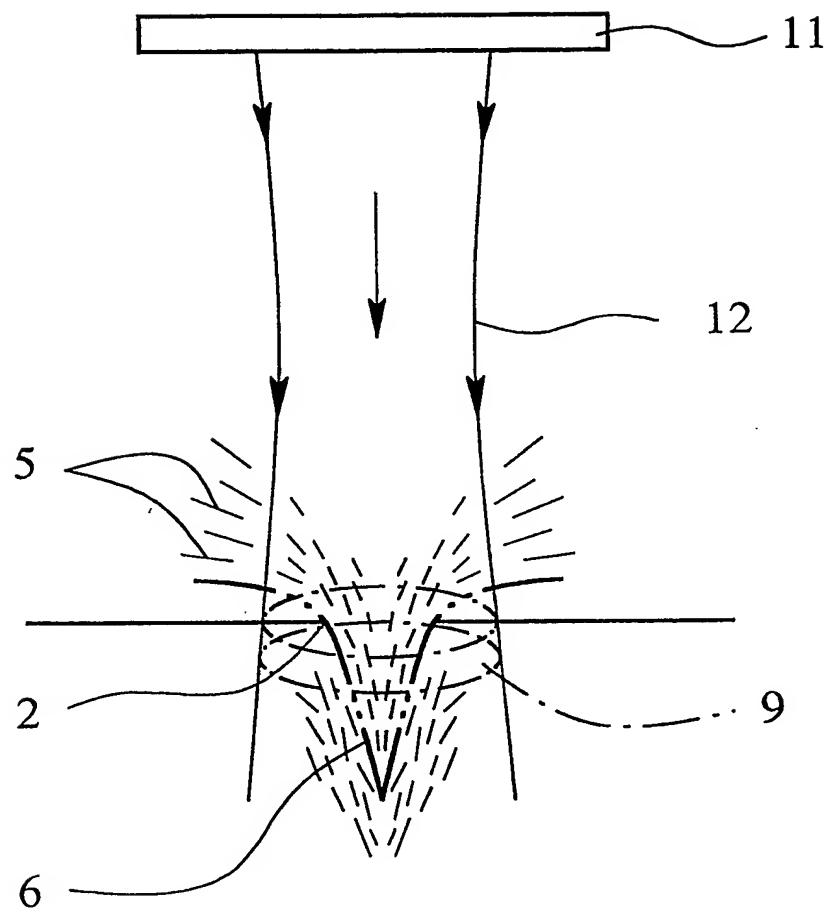


Fig. 2

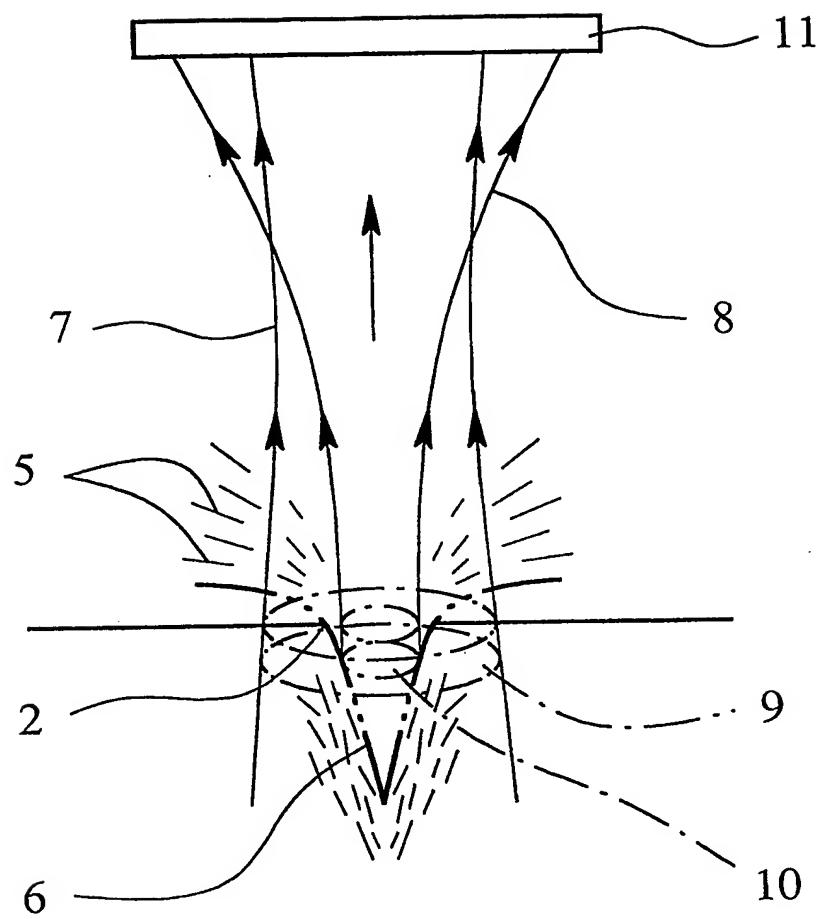


Fig. 3

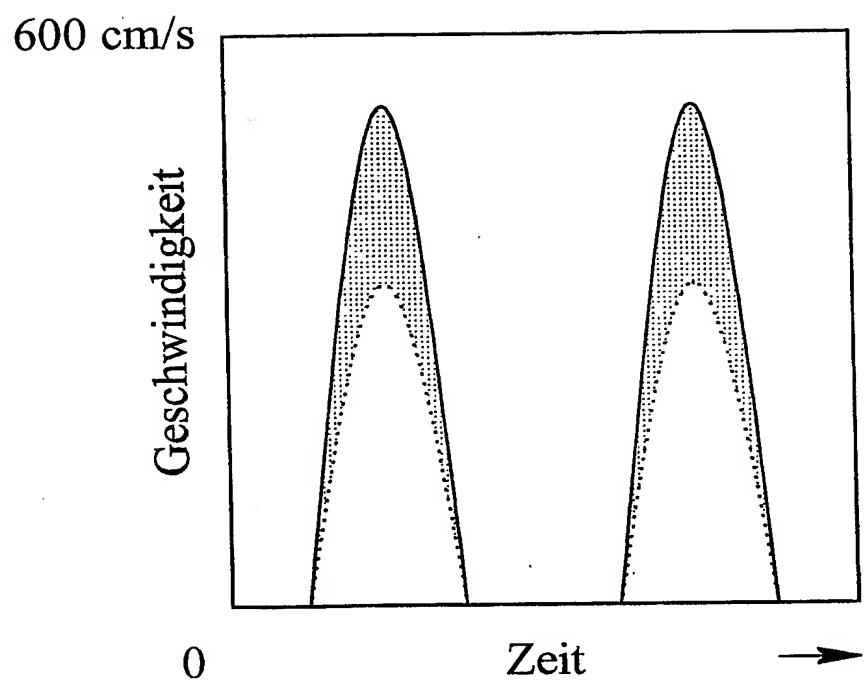


Fig. 4

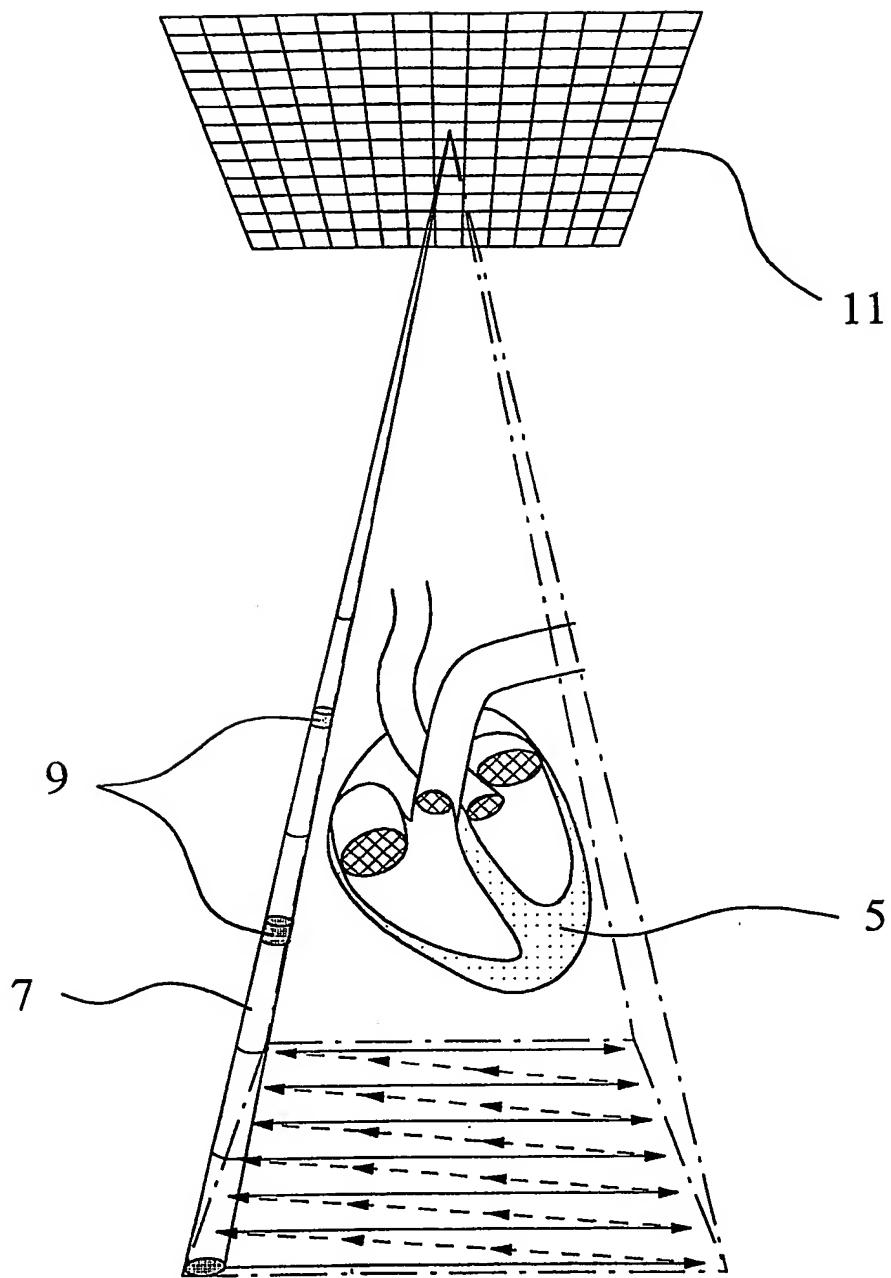


Fig. 5

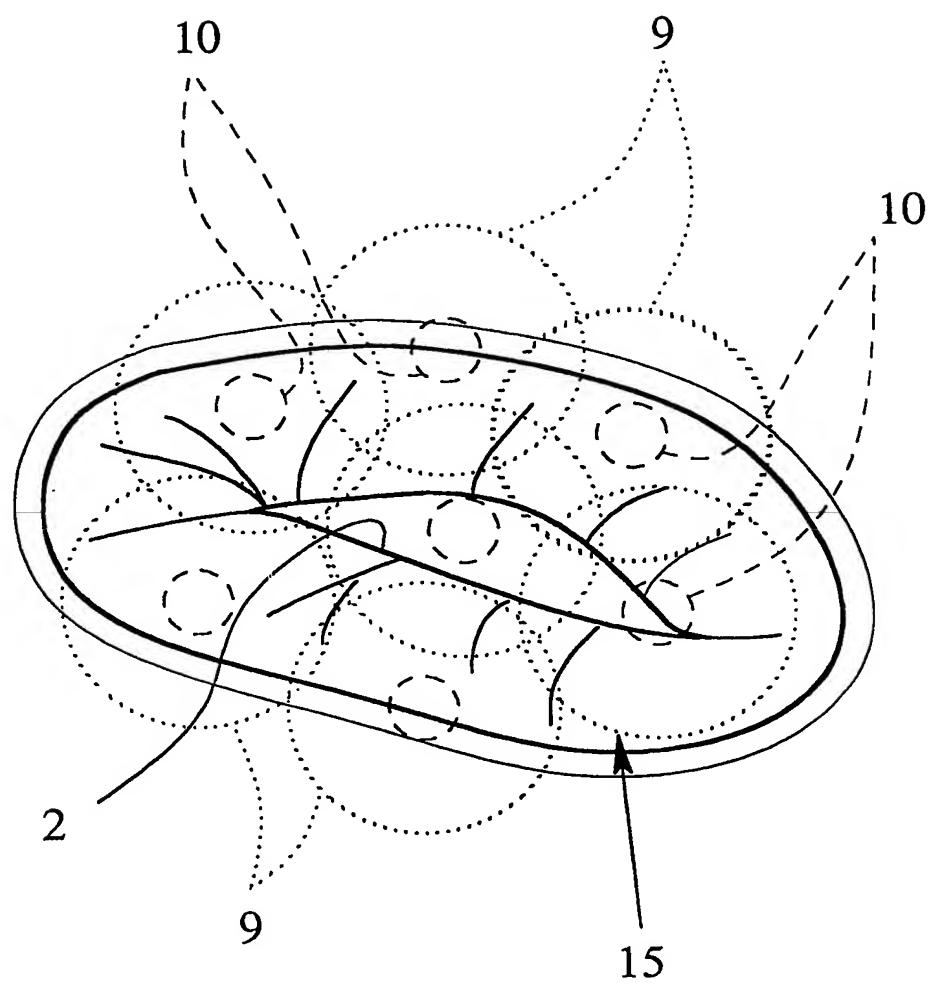


Fig. 6

14

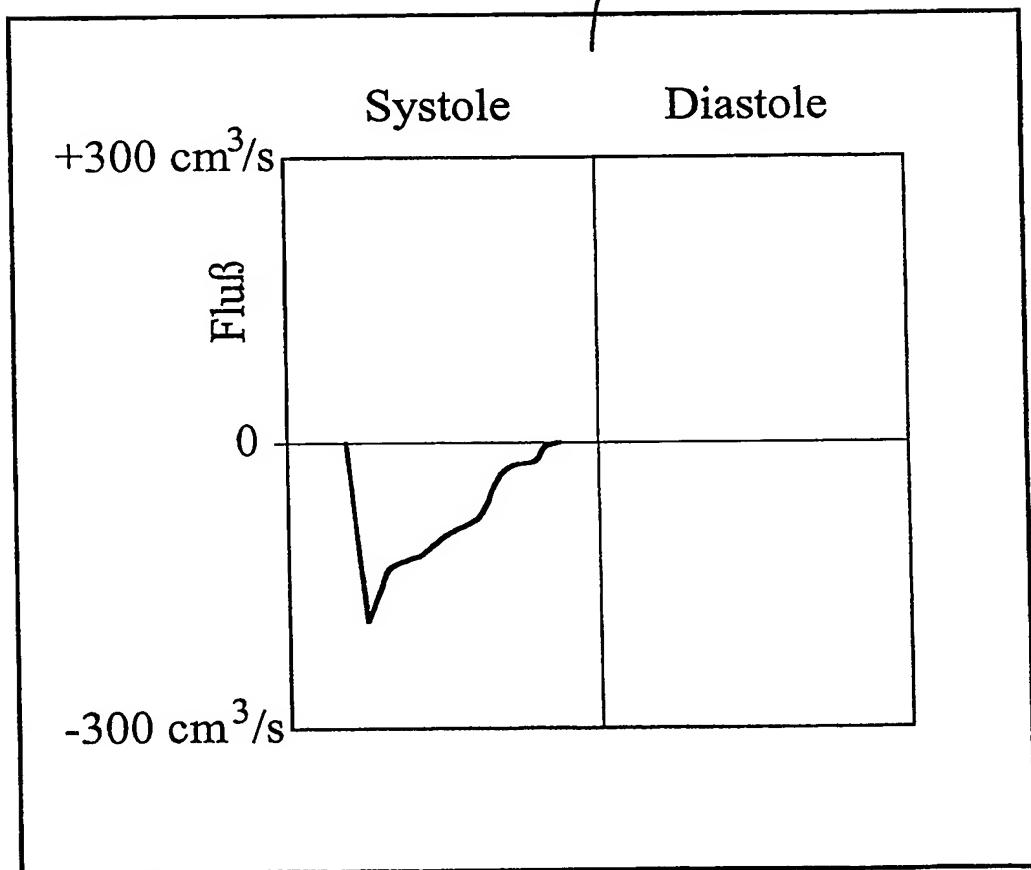


Fig. 7

Zusammenfassung:

Es werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ultraschallmessung der Blutströmung durch eine Herzklappe vorgeschlagen. Um eine einfache, automatisierte Messung zu ermöglichen, ist vorgesehen, daß der Meßbereich eines Meßstrahls dreidimensional mittels eines Multi-Array-Transducers bewegt und fortlaufend auf charakteristische Dopplersignale ausgewertet wird. Weiter ist vorgesehen, daß mehrere Meßstrahlen mit versetzten räumlichen, teilweise einander überlappenden Meßbereichen und/oder mehrere Referenzstrahlen mit versetzten räumlichen Meßbereichen zur Bestimmung der Öffnungsfläche, des Volumenstroms, des Flußvolumens und/oder eines dazu proportionalen Werts ausgewertet werden.

15 (Fig. 1)